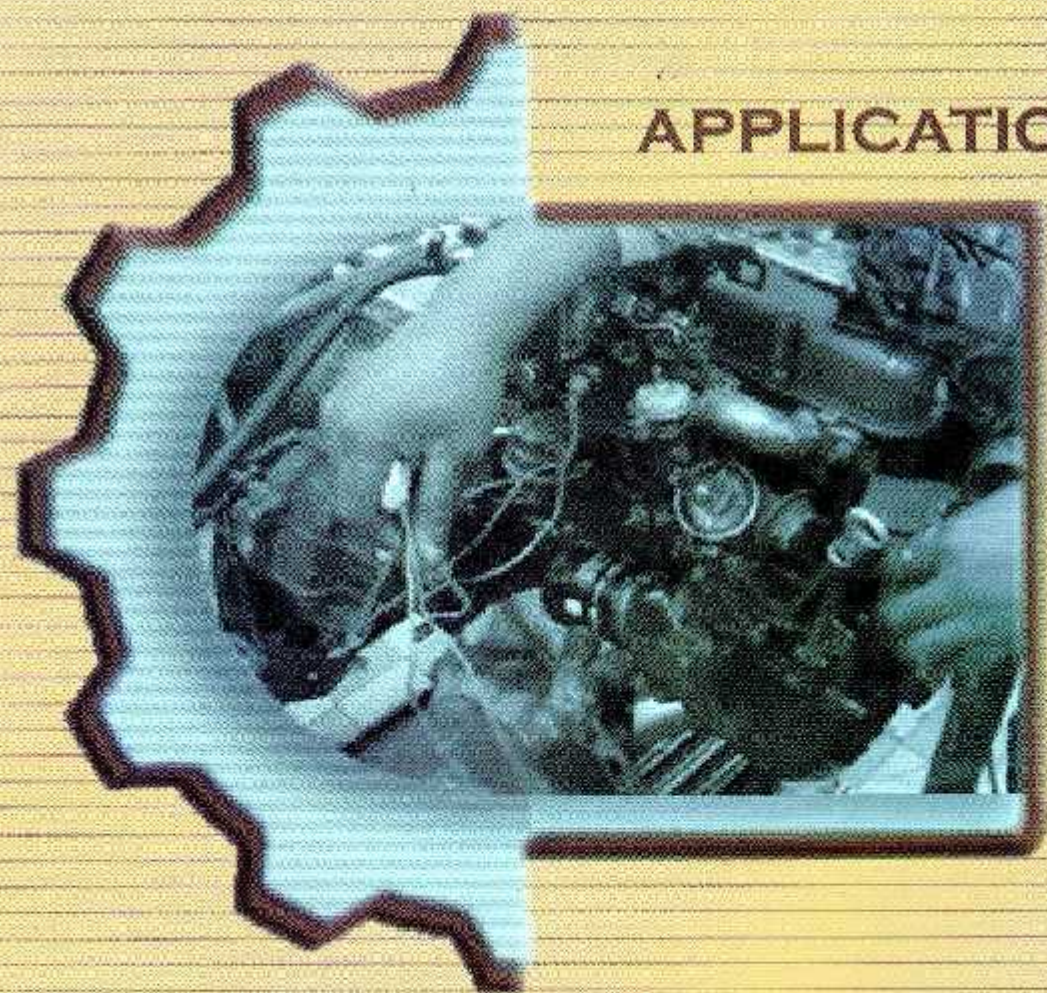


A. BOUDA

# LA MECANIQUE

NOTIONS DE BASE  
ET  
APPLICATIONS



LA MECANIQUE

*Office des Publications Universitaires*

# TABLE DES MATIERES

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Chapitre 1 : INTRODUCTION</b>                                                       | 13 |
| <b>1. La mécanique est une branche de la physique</b>                                  | 13 |
| <b>2. Espace et temps</b>                                                              | 14 |
| 2.1 Le temps - 2.2 L'espace - 2.3 L'espace-temps                                       |    |
| <b>3. La matière</b>                                                                   | 16 |
| <b>4. Systèmes d'unités</b>                                                            | 17 |
| 4.1 Unités fondamentales - 4.2 Equations aux dimensions                                |    |
| <b>Chapitre 2 : RAPPELS ET COMPLEMENTS MATHEMATIQUES</b>                               | 19 |
| <b>1. Dérivation. Différentiation. Intégration</b>                                     | 19 |
| 1.1 Dérivée d'une fonction - 1.2 Différentielle - 1.3 Dérivée d'une fonction composée  |    |
| 1.4 Intégrale indéfinie                                                                |    |
| <b>2. Vecteurs</b>                                                                     | 21 |
| 2.1 Définitions - 2.2 Propriétés - 2.3 Produit scalaire - 2.4 Produit vectoriel -      |    |
| 2.5 Dérivées des fonctions vectorielles - 2.6 Composantes d'un vecteur -               |    |
| 2.7 Intégration des fonctions vectorielles                                             |    |
| <b>3. Systèmes de coordonnées usuels</b>                                               | 25 |
| 3.1 Coordonnées cartésiennes - 3.2 Coordonnées cylindriques - 3.3 Coordonnées          |    |
| sphériques                                                                             |    |
| <b>4. Intégrales définies simples et multiples</b>                                     | 30 |
| 4.1 Intégrale simple - 4.2 Intégrale double - 4.3 Intégrale triple                     |    |
| <b>5. Champs scalaires et vectoriels</b>                                               | 36 |
| 5.1 Gradient d'un champ scalaire - 5.2 Divergence d'un champ vectoriel -               |    |
| 5.3 Rotationnel d'un champ vectoriel - 5.4 Relation du second ordre -                  |    |
| 5.5 Circulation d'un champ vectoriel                                                   |    |
| <b>6. Equations différentielles</b>                                                    | 41 |
| 6.1 Définition - 6.2 Equations différentielles du premier ordre - 6.3 Equations        |    |
| différentielles du second ordre                                                        |    |
| <b>7. Coniques</b>                                                                     | 47 |
| 7.1 Définition par foyer et directrice - 7.2 Autres définitions                        |    |
| <b>Exercices</b>                                                                       | 51 |
| <b>Chapitre 3 : CINEMATIQUE DU POINT</b>                                               | 69 |
| <b>1. Notion de mouvement</b>                                                          | 69 |
| <b>2. Mouvement rectiligne</b>                                                         | 70 |
| 2.1 Définition - 2.2 Position - 2.3 Déplacement - 2.4 Vitesse - 2.5 Accélération -     |    |
| 2.6 Mouvements rectilignes particuliers                                                |    |
| <b>3. Mouvement curviligne</b>                                                         | 72 |
| 3.1 Vecteur position - 3.2 Vecteur déplacement - 3.3 Abscisse curviligne - 3.4 Vecteur |    |
| vitesse - 3.5 Vecteur accélération - 3.6 Accélérations tangentielle et normale -       |    |
| 3.7 Vecteur vitesse de rotation - 3.8 Mouvement accéléré et retardé                    |    |

|                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>4. Composition des mouvements</b>                                                                                                                                           | 80  |
| 4.1 Définition du problème - 4.2 Relation entre les positions - 4.3 Relation entre les vitesses - 4.4 Relation entre les accélérations - 4.5 Cas d'une translation             |     |
| <b>Exercices</b>                                                                                                                                                               | 85  |
| <b>Chapitre 4 : DYNAMIQUE DU POINT</b>                                                                                                                                         | 107 |
| <b>1. Sur la notion de force</b>                                                                                                                                               | 107 |
| 1.1 La force dans la vie quotidienne - 1.2 La force en science physique - 1.3 Origine de quelques forces mécaniques                                                            |     |
| <b>2. Les lois de Newton</b>                                                                                                                                                   | 109 |
| 2.1 La première loi : le principe d'inertie - 2.2 La deuxième loi : le principe fondamental de la dynamique - 2.3 La troisième loi : le principe de l'action et de la réaction |     |
| <b>3. Les forces de frottements</b>                                                                                                                                            | 112 |
| 3.1 Frottement entre deux corps solides - 3.2 Contact avec les fluides                                                                                                         |     |
| <b>4. Les forces d'inertie</b>                                                                                                                                                 | 116 |
| 4.1 Définitions - 4.2 Effets des mouvements de rotations de la Terre                                                                                                           |     |
| <b>Exercices</b>                                                                                                                                                               | 125 |
| <b>Chapitre 5 : TRAVAIL ET ENERGIE DANS LE CADRE DU POINT MATERIEL</b>                                                                                                         | 137 |
| <b>1. Quelques expériences pour illustrer le concept d'énergie</b>                                                                                                             | 137 |
| 1.1 Introduction - 1.2 Energie mécanique - 1.3 Energie potentielle - 1.4 Energie cinétique et travail                                                                          |     |
| <b>2. Travail et puissance</b>                                                                                                                                                 | 141 |
| 2.1 Travail - 2.2 Exemple de calcul du travail - 2.3 Puissance                                                                                                                 |     |
| <b>3. Energies cinétique, potentielle et mécanique</b>                                                                                                                         | 143 |
| 3.1 Energie cinétique - 3.2 Energie potentielle - 3.3 Energie mécanique - 3.4 Forces non conservatives - 3.5 Variation de l'énergie mécanique                                  |     |
| <b>4. Equilibre et stabilité</b>                                                                                                                                               | 149 |
| <b>5. Intérêt d'utilisation de la notion d'énergie</b>                                                                                                                         | 151 |
| <b>Exercices</b>                                                                                                                                                               | 153 |
| <b>Chapitre 6 : QUANTITE DE MOUVEMENT ET MOMENT CINETIQUE. NOTION DE SYMETRIE</b>                                                                                              | 165 |
| <b>1. Quantité de mouvement</b>                                                                                                                                                | 165 |
| 1.1 Pourquoi et comment définir la quantité de mouvement - 1.2 Le principe fondamental de la dynamique : autre formulation - 1.3 Quantité de mouvement pour un système isolé   |     |
| <b>2. Moment cinétique</b>                                                                                                                                                     | 169 |
| 2.1 Pourquoi et comment définir le moment cinétique - 2.2 Théorème du moment cinétique - 2.3 Moment cinétique pour un système isolé - 2.4 Cas des forces centrales             |     |

|                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>3. Notion de symétrie en physique</b>                                                                                                                                                                                                              | 178 |
| 3.1 Qu'est ce qu'une symétrie - 3.2 La symétrie dans l'espace et le temps -                                                                                                                                                                           |     |
| 3.3 Importance de la symétrie en physique                                                                                                                                                                                                             |     |
| <b>Exercices</b>                                                                                                                                                                                                                                      | 181 |
| <b>Chapitre 7 : SYSTEME DE PARTICULES</b>                                                                                                                                                                                                             | 189 |
| <b>1. Centre de masse</b>                                                                                                                                                                                                                             | 189 |
| 1.1 Définition du centre de masse - 1.2 Référentiel du centre de masse                                                                                                                                                                                |     |
| <b>2. Quantité de mouvement</b>                                                                                                                                                                                                                       | 191 |
| 2.1 Relation cinématique - 2.2 Relation dynamique - 2.3 Propriété importante du référentiel du centre de masse                                                                                                                                        |     |
| <b>3. Moment cinétique</b>                                                                                                                                                                                                                            | 192 |
| 3.1 Relation cinématique - 3.2 Relations dynamiques                                                                                                                                                                                                   |     |
| <b>4. Energie</b>                                                                                                                                                                                                                                     | 194 |
| 4.1 Energie cinétique : relation cinématique - 4.2 Théorème de l'énergie cinétique -                                                                                                                                                                  |     |
| 4.3 Energie potentielle - 4.4 Energie mécanique - 4.5 Energie potentielle gravitationnelle au voisinage immédiat de la surface de la Terre                                                                                                            |     |
| <b>5. Système isolé à deux particules</b>                                                                                                                                                                                                             | 197 |
| 5.1 Positions, vitesses et accélérations - 5.2 Masse réduite - 5.3 Quantité de mouvement - 5.4 Moment cinétique - 5.5 Energie cinétique - 5.6 Conclusion                                                                                              |     |
| <b>6. Choc de deux particules</b>                                                                                                                                                                                                                     | 200 |
| 6.1 Introduction - 6.2 Conservation de la quantité de mouvement - 6.3 Choc élastique - 6.4 Choc inélastique                                                                                                                                           |     |
| <b>Exercices</b>                                                                                                                                                                                                                                      | 205 |
| <b>Chapitre 8 : L'INTERACTION GRAVITATIONNELLE</b>                                                                                                                                                                                                    | 211 |
| <b>1. La loi de la gravitation</b>                                                                                                                                                                                                                    | 211 |
| 1.1 Lois de Kepler - 1.2 Loi gravitationnelle de Newton - 1.3 Explication par voie analytique des lois de Kepler - 1.4 Une expérience pour mesurer la masse de la Terre                                                                               |     |
| <b>2. Energie potentielle gravitationnelle</b>                                                                                                                                                                                                        | 215 |
| 2.1 Expression de l'énergie potentielle - 2.2 Energie mécanique - 2.3 Vitesse de libération                                                                                                                                                           |     |
| <b>3. Champ et potentiel gravitationnels</b>                                                                                                                                                                                                          | 218 |
| 3.1 Définitions - 3.2 Angle solide - 3.3 Théorème de Gauss - 3.4 Exemple d'utilisation du théorème de Gauss                                                                                                                                           |     |
| <b>4. Masse d'inertie et masse de gravitation</b>                                                                                                                                                                                                     | 226 |
| <b>Exercices</b>                                                                                                                                                                                                                                      | 229 |
| <b>Chapitre 9 : INTRODUCTION A LA DYNAMIQUE DU SOLIDE</b>                                                                                                                                                                                             | 239 |
| <b>1. Géométrie des masses</b>                                                                                                                                                                                                                        | 239 |
| 1.1 Centre de masse - 1.2 Moment d'inertie                                                                                                                                                                                                            |     |
| <b>2. Rotation d'un solide autour d'un axe fixe</b>                                                                                                                                                                                                   | 247 |
| 2.1 Moment cinétique par rapport à un axe - 2.2 Moment d'une force par rapport à un axe - 2.3 Théorème du moment cinétique - 2.4 Conservation du moment cinétique - 2.5 Energie cinétique de rotation - 2.6 Exemple d'application : le pendule pesant |     |

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3. Mouvement composé .....                                                                  | 252 |
| 3.1 Mouvement du centre de masse - 3.2 Mouvement par rapport au centre de masse -           |     |
| 3.3 Conservation de l'énergie mécanique - 3.4 Exemple d'application                         |     |
| 4. Equilibre d'un solide .....                                                              | 255 |
| 4.1 Cas général - 4.2 Cas des forces concourantes - 4.3 Cas des forces coplanaires -        |     |
| 4.4 Exemple d'application                                                                   |     |
| Exercices .....                                                                             | 259 |
| Chapitre 10 : MOUVEMENT OSCILLATOIRE .....                                                  | 273 |
| 1. Oscillations libres .....                                                                | 273 |
| 1.1 L'oscillateur harmonique - 1.2 Application à une masse attachée à un ressort            |     |
| 2. Oscillations amorties .....                                                              | 278 |
| 2.1 Equation de mouvement - 2.2 Régime pseudo-périodique - 2.3 Régime                       |     |
| apériodique - 2.4 Régime critique                                                           |     |
| 3. Oscillations forcées .....                                                               | 280 |
| 3.1 Equation de mouvement - 3.2 Recherche de la solution - 3.3 Résonance                    |     |
| 3.4 Bande passante                                                                          |     |
| 4. Système à deux degrés de liberté .....                                                   | 284 |
| 4.1 Définition - 4.2 Exemple d'oscillations libres sans frottements                         |     |
| Exercices .....                                                                             | 289 |
| Chapitre 11 : INTRODUCTION A LA THEORIE DE LA                                               |     |
| RELATIVITE RESTREINTE .....                                                                 | 297 |
| 1. La physique avant la théorie de la relativité .....                                      | 297 |
| 1.1 Relativité de Galilée - 1.2 Equations de Maxwell - 1.3 Les équations de Maxwell         |     |
| et la relativité de Galilée - 1.4 Quelques expériences avant la relativité                  |     |
| 1.5 Interprétations                                                                         |     |
| 2. Postulats de la relativité .....                                                         | 304 |
| 2.1 Premier postulat : le postulat de la relativité - 2.2 Second postulat : l'invariance de |     |
| la vitesse de la lumière                                                                    |     |
| 3. Simultanéité .....                                                                       | 305 |
| 3.1 Evénement - 3.2 Simultanéité dans un même lieu - 3.3 Synchronisation de deux            |     |
| horloges - 3.4 Simultanéité en deux lieux différents                                        |     |
| 4. Transformations des longueurs et des durées .....                                        | 307 |
| 4.1 L'invariance des longueurs perpendiculaires au mouvement relatif - 4.2 Dilatation       |     |
| du temps - 4.3 Contraction des longueurs parallèles au mouvement relatif                    |     |
| Exercices .....                                                                             | 315 |
| Chapitre 12 : CINEMATIQUE ET DYNAMIQUE RELATIVISTE .....                                    | 323 |
| 1. Transformation des coordonnées et des vitesses .....                                     | 323 |
| 1.1 Transformation des coordonnées - 1.2 Transformation des vitesses                        |     |
| 2. Quadrivecteur et invariant relativiste .....                                             | 327 |
| 2.1 Quadrivecteur position - 2.2 Intervalle entre deux événements - 2.3 Temps propre -      |     |
| 2.4 Notion du quadrivecteur - 2.5 Quadrivecteurs vitesse et accélération                    |     |
| 3. Quantité de mouvement et énergie .....                                                   | 332 |
| 3.1 Comment définir la quantité de mouvement - 3.2 Travail et énergie en relativité -       |     |
| 3.3 Equivalence masse et énergie - 3.4 Quadrivecteur énergie-impulsion - 3.5 Cas du         |     |
| photon - 3.6 Quadrivecteur force                                                            |     |

## TABLE DES MATIERES

---

|                                                                                                                       |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4. Collisions entre particules.....</b>                                                                            | <b>338</b> |
| 4.1 Lois de conservation - 4.2 Référentiel du centre de masse - 4.3 Collision élastique-<br>4.4 Collision inélastique |            |
| <b>Exercices .....</b>                                                                                                | <b>343</b> |
| <b>INDEX ALPHABETIQUE .....</b>                                                                                       | <b>355</b> |